

Docket No.: 48864-037

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Osamu TOYAMA, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: March 26, 2001

Examiner:

For: METHOD AND DEVICE FOR FITTING SURFACE TO POINT GROUP, MODELING
DEVICE, AND COMPUTER PROGRAM



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2000-090629, filed March 29, 2000;

Japanese Patent Application No. 2000-197778, filed June 30, 2000;

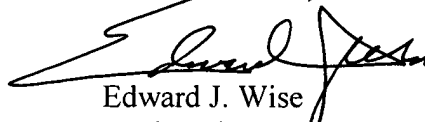
and

Japanese Patent Application No. 2000-197779, filed June 30, 2000

Certified copies are submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Edward J. Wise
Registration No. 34,523

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 EJW:klm
Date: March 26, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

48864.037
MARCH 26, 2007

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

TOYAMA et al.
McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 6月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-197779

願 人
Applicant(s):

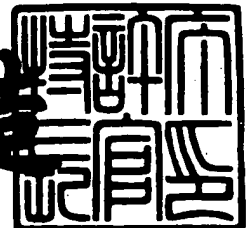
ミノルタ株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年12月15日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 TL03594

【提出日】 平成12年 6月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/60

【発明の名称】 点群に面をフィッティングする方法およびモデリング装置

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

【氏名】 遠山 修

【特許出願人】

【識別番号】 000006079

【氏名又は名称】 ミノルタ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100086933

【弁理士】

【氏名又は名称】 久保 幸雄

【電話番号】 06-6304-1590

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010995

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9716123

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 点群に面をフィッティングする方法およびモデリング装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

点群に基づいて面を変形する方法であって、

前記点群から複数の部分領域を選択し、その部分領域ごとの点群に基づいて面を変形する、

ことを特徴とする点群に面をフィッティングする方法。

【請求項 2】

3 次元の標準モデルを計測データに基づいて変形することによって 3 次元モデルを生成する方法であって、

前記計測データから複数の部分領域を選択し、その部分領域ごとの計測データに基づいて前記標準モデルを変形する、

ことを特徴とする 3 次元モデルの生成方法。

【請求項 3】

計測データの全体に基づいて標準モデルを変形した後に、請求項 1 または請求項 2 に記載の方法により前記標準モデルを変形する、

3 次元モデルの生成方法。

【請求項 4】

前記標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、

前記部分領域ごとに、前記制御点、前記計測データの個数を削減する削減率、または前記標準モデルの変形の度合を評価する評価関数の少なくとも 1 つを変更する、

請求項 2 記載の 3 次元モデルの生成方法。

【請求項 5】

3 次元の標準モデルを計測データに基づいて変形することによって 3 次元モデルを生成するモデリング装置であって、

前記計測データから複数の部分領域を選択する手段と、

選択した部分領域ごとの計測データに基づいて前記標準モデルを変形する手段

と、

を有してなることを特徴とするモデリング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、点群に面をフィッティングする方法およびモデリング装置に関し、例えばコンピュータグラフィックスの分野における3次元モデルの生成に利用される。

【0002】

【従来の技術】

近年において、映画やゲームなどに3次元CG（3次元コンピュータグラフィックス）の技術がしばしば用いられている。3次元CGでは、仮想的な3次元空間内に3次元モデルやライトを配置して動かすので、表現の自由度が高い。

【0003】

従来より、光切断法などによる非接触型の3次元計測装置が実用化されており、これを用いて計測を行うことにより、対象物の3次元データを比較的容易に作成することができる。しかし、計測によって得られた3次元データをそのまま3次元CGに用いるには、得られたデータの間引きなどを行ってデータ量を減らすための処理が複雑であるなど、種々の問題がある。

【0004】

この問題に対処するため、対象物の標準モデルを準備しておき、計測された3次元データに合わせて標準モデルを変形する方法が提案されている（特開平5-81377号）。

【0005】

この従来の方法では、計測によって得られた3次元データの3次元形状情報、つまり3次元に存在する点群をフィッティング対象として用い、それら3次元の点群に標準モデルの表面をフィッティングさせる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上に述べた従来の方法においては、全体的な形状はほぼ一致するのであるが、局所的な特徴を一致させることは困難であった。

【0007】

つまり、例えば、従来の方法によって人の頭部の3次元モデルを作成した場合に、できあがった3次元モデルは、頭部の全体的な形状は計測対象の人の頭部と一致するのであるが、目または口もとなどのように顔の表情に大きな影響を与える局所的な部分については、充分に一致するまでに至らない。そのため、人の細かい表情を表現することは困難であった。

【0008】

本発明は、上述の問題に鑑みてなされたもので、目または口もとなどの局部について、局所的な異常変形を起こすことなく、よりよく一致させることのできる方法および装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る方法は、点群に基づいて面を変形する方法であって、前記点群から複数の部分領域を選択し、その部分領域ごとの点群に基づいて面を変形する。

【0010】

また、3次元の標準モデルを計測データに基づいて変形することによって3次元モデルを生成する方法であって、前記計測データから複数の部分領域を選択し、その部分領域ごとの計測データに基づいて前記標準モデルを変形する。

【0011】

好ましくは、計測データの全体に基づいて標準モデルを変形した後に、部分領域ごとの点群または計測データに基づいて標準モデルを変形する。

さらには、前記標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、前記部分領域ごとに、前記制御点、前記計測データの個数を削減する削減率、または前記標準モデルの変形の度合を評価する評価関数の少なくとも1つを変更する。

【0012】

本発明に係る装置は、前記計測データから複数の部分領域を選択する手段と、

選択した部分領域ごとの計測データに基づいて前記標準モデルを変形する手段とを有してなる。

【0013】

本発明において、フィッティングとは、標準モデルの変形処理、またはそれを含む一連の処理をいう。

【0014】

【発明の実施の形態】

図1は本発明に係るモデリング装置1を示すブロック図である。

本実施形態においては、予め作成した標準モデルを人の頭部についての計測データ（3次元データまたは2次元画像）に基づいて変形する（フィッティングすることにより、人の頭部の3次元モデルを生成する例を説明する。

【0015】

図1に示すように、モデリング装置1は、処理装置10、磁気ディスク装置11、媒体ドライブ装置12、ディスプレイ装置13、キーボード14、マウス15、および3次元計測装置16などからなる。

【0016】

処理装置10は、CPU、RAM、ROM、ビデオRAM、入出力ポート、および各種コントローラなどからなる。RAMおよびROMなどに記憶されたプログラムをCPUが実行することにより、処理装置10上に種々の機能が実現される。

【0017】

磁気ディスク装置11には、OS (Operating System)、3次元モデルMLを生成するためのモデリングプログラムPR、その他のプログラム、標準モデル（標準モデルデータ）DS、3次元データ（3次元計測データ）DT、3次元データDTの信頼性を示す信頼性データDR、2次元画像（2次元計測データ）FT、生成された3次元モデルML、その他のデータなどが格納されている。これらのプログラムおよびデータは、適時、処理装置10のRAMにローディングされる。

【0018】

なお、モデリングプログラムPRには、計測処理、概略位置合わせ、データ削減処理、変形処理、部分領域選択処理、およびその他の処理のためのプログラムが含まれる。

【0019】

媒体ドライブ装置12は、CD-ROM(CD)、フロッピーディスクFD、または光磁気ディスクなどの記録媒体にアクセスし、データまたはプログラムの読み書きなどを行うものである。記録媒体の種類に応じて適切なドライブ装置が用いられる。上に述べたモデリングプログラムPRは、これら記録媒体からインストールすることが可能である。標準モデルDS、3次元データDT、信頼性データDR、および2次元画像FTなども、記録媒体を介して入力することが可能である。

【0020】

ディスプレイ装置13の表示面HGには、上に述べた種々のデータ、およびモデリングプログラムPRにより生成された3次元モデルML、その他のデータ(画像)が表示される。

【0021】

キーボード14およびマウス15は、処理装置10にデータを入力しまたは指令を与えるために用いられる。

3次元計測装置16は、例えば光切断法によって対象物の3次元データDTを得るためのものである。3次元計測装置16によって直接的に3次元データDTを得ることも可能であり、また、3次元計測装置16から出力されるデータに基づいて処理装置10などで演算を行い、間接的に3次元データDTを得ることも可能である。

【0022】

3次元データDTと同時に、必要に応じて同じ対象物について同じ視線上の2次元画像FTを取得することも可能である。そのような3次元計測装置16として、例えば特開平10-206132号に示される公知の装置を用いることが可能である。

【0023】

また、対象物の3次元データDTを取得する公知の他の方法として、対象物に対して視差を有して配置された複数のカメラを用いる方法などがある。それらのカメラから得られた視差を有する複数の画像から、立体写真法を用いて3次元データDTを演算により求めることができる。

【0024】

この方法では、例えば3台のカメラを用いることにより、3次元データDTの各点の信頼性を判定するためのデータをも同時に取得することができる。

すなわち、3台のカメラによる多眼視によって対象物を撮影し、3枚の画像を得る。これら3枚の画像について、互いの対応点を探索する。2枚の画像についての対応点に基づいて、3次元データDTが公知の計算により求められる。他の1枚の画像は、信頼性データDRを得るのに利用される。

【0025】

例えば、図10に示すように、3台のカメラA、B、Cを用い、対象物Qを撮影して3枚の画像FA、FB、FCを取得する。各画像FA、FB、FCについて、それぞれの画像面 (u_n, v_n) が示されている $(n=1, 2, 3)$ 。3次元空間Mにある対象物Q上の点QPが、各画像面上の点PA、PB、PCに投影されている。

【0026】

ここで、点PA、PB、PCの対応が求まるとすると、それらの対応から、3次元空間M'を再構成することができる。3次元空間M'において、点PA、PBに対応する点QP'が求まる。理想的には、この再構成された3次元空間M'上の点QP'を画像面 (u_3, v_3) に逆投影した点PC'と、元の3次元空間M上の点QPを画像面 (u_3, v_3) 上に投影した点PCとは、一致するはずである。

【0027】

しかし、投影変換を正確に求めることは難しく、また対応を正確に求めることも難しいため、通常、これらは一致しない。そこで、これら点PC'と点PCとのずれを誤差とし、信頼性の指標として用いる。

【0028】

例えば、点PC'と点PCとの誤差を、ずれた画素の数で示す。点PC'と点PCとが同じ画素上にあれば、誤差は「0」である。1画素ずれていれば、誤差は「1」である。2画素ずれていれば、誤差は「2」である。このずれた画素数を信頼性データDRとして用いることができる。

【0029】

信頼性データDRを判断する他の方法として、例えば特開昭61-125686号に示される方法、その他の公知の方法を用いることも可能である。

モデリング装置1は、パーソナルコンピュータまたはワークステーションなどを用いて構成することが可能である。上に述べたプログラムおよびデータは、ネットワークNWを介して受信することにより取得することも可能である。

【0030】

次に、モデリング装置1の全体の処理の流れについて、フローチャートを参照しながら説明する。

図2はモデリング装置1の全体の処理の流れを示すフローチャート、図3は変形処理を示すフローチャート、図4は標準モデルDS1の例を示す図、図5は対象物から3次元データDTを取得する様子を示す図、図6(A)(B)は概略の位置合わせの様子を示す図、図7は輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図、図8は標準モデルDSの面Sと3次元データDTの点Pとを模式的に示す図、図9は標準モデルDSの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図、図10は対象物の3次元データDTおよび信頼性データDRを取得する方法の例を説明する図である。

〔標準モデルの準備〕

図2において、まず、対象物についての標準モデルDSを準備する(#11)。本実施形態では対象物が人の頭部であるので、種々のサイズおよび形状を有した、頭部の全周についての複数の標準モデル群の中から、対象物の頭部に最もよく似た標準モデルDS1を準備する。

【0031】

標準モデルDSは、ポリゴンで定義された3次元形状モデル、または自由曲面で定義された3次元形状モデルのいずれでもよい。ポリゴンで定義された3次元

形状モデルである場合は、各ポリゴンの頂点の 3 次元座標によって表面の形状が決まる。自由曲面で定義された 3 次元形状モデルである場合は、曲面を定義する関数、および各制御点の座標によって表面の形状が決まる。

【 0 0 3 2 】

なお、ポリゴンで定義された 3 次元形状モデルである場合に、各ポリゴンの頂点を「構成点」と記載する。

また、標準モデル D S のフィッティングに際して、標準モデルを変形するために用いられる点を「制御点」と呼称する。制御点とポリゴンの構成点との位置関係は任意であり、制御点はポリゴンの面上に設定されていてもよく、ポリゴンの面から離れて設定されていてもよい。1 つの制御点は複数の構成点（3 ～ 1 0 0 程度）と関連付けられており、制御点の動きに合わせて関連付けられた構成点が移動する。標準モデル D S のフィッティングに際しては、これら複数の制御点を移動させることによって標準モデル D S 全体を変形する。3 次元形状モデルが自由曲面で定義されている場合も、フィッティングに使用する制御点の配置は任意である。

【 0 0 3 3 】

制御点は、目尻、唇端などのように細かな形状を持つ部分、および、鼻、唇などのように急激な形状の変化を持つ部分には、高い密度で配置される。それ以外の部分には一様に配置される。

【 0 0 3 4 】

標準モデル D S には、ある方向から見た特徴的な輪郭 R K および特徴点 T T が設定される。輪郭 R K として、例えば、目、鼻、口、または顎などに、瞼のライン、鼻のライン、唇のライン、または顎のラインなどが設定される。特徴点 T T として、例えば、目や口の端部、鼻の頂部、顎の下端部のように、実際に特徴のある部分、または、それらの中間のようなそれ自体では特徴はないが位置的に特定し易い部分などが選ばれる。

【 0 0 3 5 】

図 4 に示す標準モデル D S 1 では、顎のライン、唇のライン、および瞼のラインが輪郭 R K 1 ～ 3 として設定されている。図 4 で分かるように、輪郭 R K 1 は

、標準モデルD S 1 をある方向から見たときに、その縁線となる部分である。また、図4に示す標準モデルD S 1 では、設定された特徴点T Tの一部のみが実際に図に表されている。

〔3次元データの取得〕

次に、対象物の3次元計測を行い、3次元データD Tを取得する（＃12）。その際に、対象物の2次元画像F Tをも同時に取得しておく。また、上に述べたように、3次元データD Tの各点についての信頼性を示す信頼性データD R、または信頼性データD Rを得るための情報を必要に応じて取得しておく。

【0036】

例えば、図5に示すように、3次元計測装置16を用いて、対象物である人の頭部を計測（撮影）する。これによって、3次元データD Tおよび2次元画像F Tが取得される。

【0037】

なお、対象物を計測して得た3次元データD Tおよび／または2次元画像F Tを、「計測データ」と記載することがある。標準モデルD Sの準備と3次元データD Tの取得とはいずれが先でもよく、並行して進めてもよい。

〔概略の位置合わせ〕

標準モデルD Sと3次元データD Tとの概略の位置合わせを行う（＃13）。この処理では、標準モデルD Sと3次元データD Tとが概略一致するように、標準モデルD Sの向き、サイズ、および位置を変更する。このとき、標準モデルD Sを、X、Y、Zのそれぞれの方向に個別に任意の倍率に偏倍することにより、それぞれの方向のサイズを3次元データD Tによく合わせることができる。

【0038】

例えば、図6（A）に示すように、3次元データD Tに対して、標準モデルD Sを回転させ且つ各方向に偏倍することにより、図6（B）に示すように、3次元データD Tとほぼ同じサイズの標準モデルD S aを得ることができる。なお、わかりやすくするために、図面上では位置を合わせていないものを示す。

【0039】

概略の位置合わせの手法として、次に説明するように、（1）全体的概略位置

合わせ、(2)局所的概略位置合わせ、の2つの手法がある。

これらの手法のうち、(1)の手法は自動で行うことができる。(2)の手法は、その中の特徴点抽出を自動で行うことが困難であるので、一部手動で行う必要がある。概略位置合わせ後のフィッティングでは基本的に標準モデルDSの局所的な変形が行われることになるため、形状が合うことを重視する場合には(1)の手法が好適であり、アニメーションのように形状よりも位置が合って欲しいという場合には(2)の手法が好適である。また、特徴点抽出を行うことに慣れたユーザであれば、処理時間を短縮するために(2)の手法を用いることは効果的である。

〔全体的概略位置合わせ〕

全体的概略位置合わせでは、3次元データDTと標準モデルDSとの距離を最小とするように、標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。

【0040】

すなわち、次の(1)式に示すエネルギー関数 $e(s_i, \alpha_i, t_i)$ が最小となる s_i, α_i, t_i を導く。

なお、 $f(s_i, \alpha_i, t_i)$ は、3次元データDTと標準モデルDSとの距離に関連して定義されるエネルギー関数である。 $g(s_i)$ は、過剰な変形を避けるための安定化エネルギー関数である。

【0041】

また、3次元計測装置16によって3次元データDTを取得する際に同時に取得した2次元画像FTを用い、2次元画像FT上でのパターンマッチングを用いて、位置、方向、およびサイズの初期値を与えてもよい。

【0042】

〔数1〕

$$\begin{aligned}
 e(s_i, \alpha_i, t_i) &= f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) & \dots (1) \\
 f(s_i, \alpha_i, t_i) &= \sum_K d_K(s_i, \alpha_i, t_i)^2 \\
 g(s_i) &= \frac{w_{sc}}{s_0} \{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + (s_3 - s_0)^2 \}
 \end{aligned}$$

【 0 0 4 3 】

但し、

K : 3次元データの構成点の個数

dk : 3次元データの構成点と標準モデルの表面との距離

Wsc : 偏倍安定化のウェイトパラメータ

S0 : 初期スケール

Si : 各方向の偏倍量 (但し、S3 は奥行き方向である)

α_i : 標準モデルの各方向の回転

ti : 標準モデルの各方向への移動量

ここで、標準モデルDS上の構成点は次の(2)式にしたがって移動し、それ
にともなって、3次元データDTの構成点と標準モデルDSの表面との間の距離
dk が変化する。

【 0 0 4 4 】

【数2】

$$M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) = Q_{r3} Q_{r2} Q_{r1} Q_i x + t \quad \dots (2)$$

x: 変形対象点座標

t: 移動ベクトル, $t = [t_1, t_2, t_3]$

$$Q_{ri}: x_i \text{ 軸まわりの回転行列, } Q_{r1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ 0 & -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix} \text{ など}$$

$$Q_i: \text{偏倍行列, } Q_i = D \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} D^T$$

D: グローバル座標からの変換行列

【 0 0 4 5 】

また、3次元計測装置16による計測(撮影)が一方向からに限られる場合に、奥行き方向(Z方向)の偏倍量が正確に得られない場合がある。その場合には、3次元データDTの形状と標準モデルDSの形状に大きな違いはないとみなし、次の(3)式に示すように、X, Y方向の偏倍量(S1, S2)によってZ方向の偏倍量(S3)を補正する方法も考えられる。

【0046】

【数3】

$$e(s_i, \alpha_i, t_i) = f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) \quad \dots (3)$$

$$f(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_K d_K^2$$

$$g(s_i) = \frac{w_{sc}}{s_0} \left\{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + \gamma \left[s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \right\}$$

【0047】

但し、

γ : 視線方向×3 変形分へのウェイトパラメータ

〔局所的概略位置合わせ〕

上に述べた全体的概略位置合わせを自動で行った場合に、それがうまく合わなかったときに、手動で合わせることとなるが、ここに述べる局所的概略位置合わせは、手動での位置合わせの際にできるだけ簡単に行うための手法である。なお、自動でうまくいかなかった分は一旦リセットし、初めから手動でやり直す。

【0048】

局所的概略位置合わせでは、3次元データDT上の特徴的な線または点と、標準モデルDS上の特徴的な線または点とを対応づけ、それらの距離を最小にするように標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。なお、線と線とを対応付けた場合は、一方の線上の点とその点から他方の線上へ降ろした垂線のうち最短となる点とを特徴点とし、線上でこれらの点を複数点取得するものとする。

【0049】

すなわち、3次元データDT上の特徴点とそれに対応する標準モデルDS上の特徴点との距離に対して、次の(4)式に示すエネルギー関数 $E(s_i, \alpha_i, t_i)$ が最小となるように、標準モデルDSの t_i, α_i, s_i を導く。

【0050】

【数 4】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) - C_k|^2 \quad \dots (4)$$

【0 0 5 1】

但し、

- k : 対応する特徴点の個数
- M_k : 位置合わせ後の標準モデル上の特徴点
- x : 位置合わせ前の標準モデル上の特徴点
- C_k : 3次元データ上の特徴点
- S_i : 標準モデルの各方向の偏倍量
- α_i : 標準モデルの各方向の回転
- t_i : 標準モデルの各方向への移動量

また、3次元計測装置16による計測（撮影）が一方向からに限られる場合に、奥行き方向（Z方向）のスケールが正確に得られない場合がある。その場合には、上に述べた全体的概略位置合わせの場合と同様に、次の（5）式を用いてZ方向のスケールを補正する方法が考えられる。

【0 0 5 2】

【数 5】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) - C_k|^2 + \gamma \left[s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \quad \dots (5)$$

【0 0 5 3】

〔輪郭・特徴点の抽出〕

3次元データDTまたは2次元画像FT上に、輪郭および特徴点を抽出する（#14）。標準モデルDSについての輪郭RKおよび特徴点TTを予め抽出しておいた場合には、それらと同じ位置に配置されるべき輪郭および特徴点を、3次元データDT上に、またはそれに対応する2次元画像上に配置する（図7参照）

【 0 0 5 4 】

標準モデル D S についての輪郭 R K および特徴点 T T が予め抽出されていない場合には、3 次元データ D T 上または 2 次元画像上への配置と合わせて標準モデル D S 上でも指定する。

〔データ削減〕

次に、計算量および誤差を削減するために、3 次元データ D T についてデータの削減を行い、必要且つ信頼性の高いデータのみを取り出す（# 1 5）。データの削減を行うことによって、元の 3 次元データ D T の形状を崩すことなく、計算量を減らすことができる。

【 0 0 5 5 】

データの削減に当たって、例えば、対象物の領域外のデータを除外し、不要なデータを除く。例えば、2 次元画像 F T から顔の領域を判別し、その領域に対応した 3 次元データ D T のみを残す。あるいは、対象物と背景との間の距離の相違を用いて領域を判別する。また、概略位置合わせの情報を用いて、顔の領域を抽出するなどの各種の方法がある。また、3 次元データ D T に信頼性データ D R がある場合には、信頼性の高いもののみを残す。近隣にデータが多い場合はそのデータを間引き、密度を平均化する。

【 0 0 5 6 】

データを間引いて密度を平均化する場合は、次の（6）式で示される条件を満たす 3 次元データ D T のみを採用する。

【 0 0 5 7 】

【数 6】

$$|P^k - \tilde{P}^r| > \frac{r_{\text{det}}(P^k) + r_{\text{det}}(\tilde{P}^r)}{2} \quad \dots (6)$$

【 0 0 5 8 】

但し、

P^k : 構成点

$P \sim r$: 既に採用された構成点

$R_{\text{det}}(x)$: 構成点 x の周囲の密度を表す関数

上の (6) 式によると、注目されているデータ P_k について、それまでに採用されて残っているデータ P_r との間の距離が一定以上であれば、そのデータ P_k を採用する。

〔変形〕

標準モデル DS 全体の変形が行われる (# 1 6)。ここでは、3次元データ DT の各構成点と標準モデル DS の面との間の距離に関連して定義されたエネルギー関数 e_1 を用いるとともに、それに加えて、標準モデル DS の特徴点と3次元データ DT に対して指定された特徴点との間の距離に関連して定義されるエネルギー関数 e_3 、標準モデル DS の輪郭と3次元データ DT に対して指定された輪郭との間の距離に関連して定義されるエネルギー関数 e_2 、および、過剰な変形を回避するために定義されたエネルギー関数 e_s を用い、それらを総合したエネルギー関数 e を評価し、総合のエネルギー関数 e が最小となるように標準モデル DS の面を変形させる。

【0059】

なお、総合のエネルギー関数 e として、 e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_s の4つの関数を用いるのが一番望ましいが、 $e_1 \sim e_3$ のうち任意の2つだけを用いることも可能である。

【0060】

次に、各エネルギー関数について順次説明する。

〔標準モデルと3次元データとの距離〕

図8において、3次元データ DT を構成する点群の1つが点 P_k で示されている。標準モデル DS の面 S において、点 P_k に最も近い点が Q_k で示されている。点 Q_k は、点 P_k から面 S に垂線を下ろしたときの交点である。ここでは、点 P_k と点 Q_k との距離が評価される。

【0061】

すなわち、3次元データ DT の各点と標準モデル DS の面との差分エネルギー e_1 は、データ削減後の3次元データ DT 上の点 P_k と、それを標準モデル DS

の面 S 上に投影した点 Q k との二乗距離を用いて、次の (7) 式によって算出される。

【 0 0 6 2 】

【数 7】

$$e_i(T_i^A) = \frac{1}{WL^2} \sum_k w(\rho^k) [d^{kT} (Q^k - P^k)]^2 \quad \dots (7)$$

【 0 0 6 3 】

但し、

T 1A : 制御点群

P k : 削減後の 3 次元データの構成点

Q k : 構成点からモデル表面への投影点

K : 削減後の構成点の個数

d^k : 構成点からモデル表面への投影方向,

$$d^k = (Q^k - P^k) / |Q^k - P^k|$$

ρ k : 構成点 P k の信頼性

w(ρ k) : 信頼性関数, $w(\rho^k) = 1 / (\alpha + \rho^k)^n$

W : $\sum w(\rho^k)$

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

〔標準モデル上の輪郭と計測データ上の輪郭との距離〕

ここでは、3 次元データ D T 上に指定された輪郭 R K、または 2 次元画像 F T 上に指定された輪郭 R K と、標準モデル D S 上の輪郭 R K との距離が評価される。

【 0 0 6 4 】

計測データの輪郭 R K が 3 次元データ D T 上に指定される場合は、3 次元データ D T の輪郭 R K 上の点から標準モデル D S 上の対応する輪郭 R K へ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭 R K 上では複数の点を指定する。

【0065】

計測データの輪郭RKが2次元画像FT上に指定される場合は、2次元画像FTを撮影したカメラについてのカメラパラメータを用い、標準モデルDSの輪郭RKを2次元画像FT上に投影する。2次元画像FTの輪郭RK上の点から、標準モデルDSの対応する輪郭RKへ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭RK上では複数の点を指定する。

【0066】

計測データの輪郭RKが3次元データDT上に指定される場合に、標準モデルDSの輪郭RK毎の差分エネルギー e_2 は、それらの距離の二乗和を用いて次の(8)式によって計算される。

【0067】

【数8】

$$e_2(r_2^k) = \frac{1}{n l^2} \sum_{k=1}^n [d^k(r_2^k - p^k)]^2 \quad \dots (8)$$

【0068】

但し、

T2A：制御点群

p^k ：3次元データ上の輪郭点

q^k ：3次元データ上の輪郭点から対応するモデル輪郭への垂足点

n ：1つのモデル輪郭に対応が付けられている3次元データの輪郭点数

d^k ：計測データの輪郭点から対応するモデル輪郭線への投影方向、

$$d^k = (q^k - p^k) / |q^k - p^k|$$

l ：種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭RKが2次元画像FT上に指定される場合に、標準モデルDSの輪郭RK毎の差分エネルギー e_2' は次の(9)式によって計算される。

【0069】

【数 9】

$$e_2(T_2^A) = \frac{1}{nl^2} \sum_{k=1}^n [d^{kT} (q^k - p^k)]^2 \quad \dots (9)$$

【0 0 7 0】

但し、

T 2A : 制御点群

p k : 2 次元画像上の輪郭点

q k : 2 次元画像上の輪郭点から 2 次元画像上に投影された対応するモデル輪郭への垂足点

n : 1 つのモデル輪郭に対応が付けられている計測データの輪郭点数

d^k : 2 次元画像上の輪郭点から対応するモデル輪郭への投影方向,

$$d^k = (q_k - p_k) / |q_k - p_k|$$

l : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭 R K を 2 次元画像 F T 上で指定する理由は、例えば 3 次元データ D T があいまいな場合に、3 次元データ D T 上に輪郭 R K を指定すると輪郭 R K そのものが不正確となるからである。したがって、それに代えて 2 次元画像 F T を用いて輪郭 R K を抽出するのである。

【標準モデル上の特徴点と対応した計測データ上の特徴点との距離】

計測データ上に特徴点 T T を設定することにより、3 次元データ D T 上に指定された特徴点 T T、または 2 次元画像 F T 上に指定された特徴点 T T と、標準モデル D S 上の特徴点との距離が評価される。

【0 0 7 1】

3 次元データ D T 上の特徴点 T T と標準モデル D S 上の特徴点 T T との差分エネルギー e₃ は、対応する特徴点 T T の二乗距離を用いて次の (10) 式によって計算される。

【0 0 7 2】

なお、2 次元画像 F T 上に特徴点 T T を指定した場合は、カメラパラメータを

用いて標準モデルDSの特徴点TTを2次元画像FT上に投影し、2次元画像FT上での差分エネルギーを計算する。

【0073】

【数10】

$$e_3(T_3^A) = \frac{1}{NL^2} \sum_{k=1}^N |F^k - G^k|^2 \quad \dots (10)$$

【0074】

但し、

T3A：制御点群

Fk：計測データの特徴点

Gk：計測データの特徴点に対応する標準モデル上の特徴点

N：計測データの特徴点と標準モデル上の特徴点との対応数

L：種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

〔過剰な変形を回避するための安定化エネルギー〕

上に述べた差分のエネルギーに加え、過剰な変形を回避するための安定化エネルギーesが導入される。

【0075】

すなわち、変形に用いられる制御点の間が、図9に示す仮想バネ(elastic bar)KBによってつながれているものとする。仮想バネKBの制約に基づいて、標準モデルDSの面Sの形状の安定化のための安定化エネルギーesが定義される。

【0076】

なお、仮想バネは必ずしも制御点間に張られている必要はない。制御点と仮想バネとの関係が明確であればよい。

図9において、フィッティング対象である標準モデルDSの面Sの一部が示されている。面Sは、制御点群 $U = \{u_i, i = 1 \dots N\}$ で形成されている。隣接する制御点間には、仮想バネKBが配置されている。仮想バネKBは、制御点間

に引っ張り力による拘束を与え、面 S の異常変形を防ぐ働きをする。

【 0 0 7 7 】

つまり、隣接する制御点 u の間隔が大きくなった場合に、それに応じて仮想バネ $K B$ による引っ張り力が大きくなる。例えば、点 $Q k$ が点 $P k$ に近づく場合に、その移動にともなって制御点 u の間隔が大きくなると、仮想バネ $K B$ による引っ張り力が増大する。点 $Q k$ が移動しても制御点 u の間隔が変わらなければ、つまり制御点 u 間の相対位置関係に変化がなければ、仮想バネ $K B$ による引っ張り力は変化しない。仮想バネ $K B$ による引っ張り力を面 S の全体について平均化したものを、安定化エネルギー $e s$ として定義する。したがって、面 S の一部が突出して変形した場合に安定化エネルギー $e s$ は増大する。面 S の全体が平均して移動すれば安定化エネルギー $e s$ は零である。

【 0 0 7 8 】

安定化エネルギー $e s$ は、仮想バネ $K B$ の変形の状態により、次の (1 1) 式により求められる。

【 0 0 7 9 】

【数 1 1】

$$e_s(\tau_s^A) = \frac{c}{ML^2} \sum_{m=1}^M \left[\frac{1}{L_0^m} (\tilde{U}^m - \tilde{V}^m)^T (U^m - V^m) - L_0^m \right]^2 \cdots (11)$$

【 0 0 8 0 】

但し、

$T s A$: 制御点群

$U \sim m, V \sim m$: 仮想バネの端点 (制御点) の初期値

$U m, V m$: 変形後の仮想バネの端点

$L 0 m$: 初期状態の仮想バネの長さ,

$$L 0 m = | U \sim m - V \sim m |$$

M : 仮想バネの本数

c : バネ係数

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

したがって、バネ係数 c を大きくすると、仮想バネ $K B$ は硬くなって変形し難くなる。

【 0 0 8 1 】

このような安定化エネルギー関数 e_s を導入することにより、面 S の形状変化に一定の拘束を設けることとなり、面 S の過度の変形を防ぐことができる。

〔総合のエネルギー関数〕

上に述べたように、各エネルギー関数 e_1, e_2, e_3, e_4 について、それぞれ制御点群 $T_{1A}, T_{2A}, T_{3A}, T_{sA}$ が用いられる。ここでは、これらの制御点群 $T_{1A} \sim T_{sA}$ は同じであるが、後述するように互いに異ならせることができる。これら制御点群 T_A を用いて標準モデル $D S$ の変形を行い、次の (1 2) 式に示す総合エネルギー関数 $e(T_A)$ を最小にする制御点群 T_A を求める。

【 0 0 8 2 】

〔数 1 2〕

$$e(T_A) = w_1 e_1(T_A) + \sum_s w_2 e_2^s(T_A) + w_3 e_3(T_A) + c e_s(T_A) \cdots (12)$$

【 0 0 8 3 】

但し、

$e_1(T_{1A})$: 3次元データの構成点とモデル表面との差分エネルギー

$e_2^s(T_{2A})$: モデル輪郭毎の計測データ上の輪郭との差分エネルギー

$e_3(T_{3A})$: 計測データの特徴点とモデル上の特徴点との差分エネルギー

$e_s(T_{sA})$: 過剰な変形を回避するための安定化エネルギー

w_i, c : それぞれのエネルギーのウエイトパラメータ

$T_A = T_{1A} = T_{2A} = T_{3A} = T_{sA}$

〔繰り返し変形〕

実際には繰り返し変形を行う (# 1 7)。つまり、制御点を動かして繰り返し変形を行う。 n 回目の変形後の総合エネルギー関数を $e_n(T_A)$ とすると、次の (1 3) 式の条件が満たされたときに、総合エネルギー関数 $e_n(T_A)$ が収

束したと判断する。

【0084】

【数13】

$$|e^n(T^A) - e^{n-1}(T^A)| < \varepsilon \quad \dots (13)$$

【0085】

さて、ここで、変形処理の全体的な流れを図3に沿って説明する。まず、計測データと標準モデルDSとの間に対応する点の組みを作成する（図8のPkとQk）（#21）。

【0086】

面Sを変形し（#22）、変形後の総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ を計算する（#23）。総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ が収束するまで（#24でイエス）、処理を繰り返す。

【0087】

総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ の収束を判定する方法として、上に述べたように総合エネルギー関数 $e_n(TA)$ が所定の値よりも小さくなったときに収束とする方法、前回の計算と比較べた変化の割合が所定値以下となったときに収束とする方法など、公知の方法を用いることが可能である。

〔異なる制御点の使用〕

上に述べた（12）式では、フィッティング対象（3次元データDTの構成点、輪郭RK、特徴点TT）がそれぞれ異なるエネルギー関数 $e_1 \sim e_4$ について、同じ制御点群を使用した。ここに示す例は、フィッティング対象毎、すなわちエネルギー関数毎に異なる制御点群を用いる。つまり、制御点群T1A, T2A, T3A, T4Aを互いに異ならせる。

【0088】

この場合には、総合エネルギー関数 $e(TA)$ として上に示した（12）式を用いることができる。但し、そこに用いられる制御点群T1A, T2A, T3A, T4Aは、互いに異なっており、次に示す関係にある。

【0089】

$$T A \supset T 1 A$$

$$T A \supset T 2 A$$

$$T A \supset T 3 A$$

$$T A = T S A$$

すなわち、上に述べたように、特徴点は点であるので、特徴点同士のエネルギーに対しては、局所的な動きになってしまう。例えば、3次元データDTと標準モデルDSとの目の位置を合わせようとするときに、特徴点TTが設定された部分のみが強く引っ張られ、いびつに変形する可能性がある。そのような場合に、全体的な動きとなるようにするのが好ましい。

【0090】

一方、3次元データDTの構成点に対しては、目の横などは細かく動いてほしい。しかし、少数の制御点しか用いない場合には、構成点は細かく移動しない。

そこで、3次元データDTの構成点については多数の制御点を用い、特徴点については少数の制御点を用いる。輪郭RKについてはその中間の量とする。

【0091】

例えば、輪郭RKが急激に変化する部分については、制御点を細かくする。安定化エネルギーは全ての制御点に対してかける。このような制御点の選択は、標準モデルDSを準備する際に行う。

【0092】

なお、制御点群T1A, T2A, T3A, TSAは互いに異なるのであるが、各制御点群に含まれる制御点は、互いに共通に用いられるものもある。

〔信頼性に応じたウエイトの変更〕

上に述べた(12)式では、各情報についての信頼性が同等であるとして総合エネルギー関数 $e(TA)$ を評価したが、ここに示す例は、それぞれの情報の信頼性に応じて重みを変更する。これによって、様々な情報の中からより信頼性の高い情報に重きを置いて判定することができる。

【0093】

なお、それぞれの情報の信頼性は、3次元計測時、または輪郭・特徴点の自動抽出時に得られるものとする。

この場合には、次の（14）式に示す総合エネルギー関数 $e(TA)$ を最小にする制御点群 TA を求める。

【0094】

【数14】

$$e(T^A) = w_1 W_1(\rho_1) e_1(T^A) + \sum_j w_2 W_2(\rho_2^s) e_2^s(T^A) + w_3 W_3(\rho_3) e_3(T^A) + c e_s(T^A)$$

... (14)

【0095】

但し、

ρ_i : 各エネルギー関数 $e_i(TA)$ に関する情報の信頼性

$W(\rho_i)$: 信頼性関数

$TA = T1A = T2A = T3A = TSA$

〔部分領域変形〕

ステップ#17までの処理によって、従来の技術に比べて、より精密な3次元モデルMLを得ることができる。しかし、ステップ#17までの処理は対象物全体を対象として行われているので、局所的に特徴を有する部分については必ずしも精密なフィッティングがなされているとは限らない。そこで、対象物のうち特徴のある部分またはステップ#17までの処理で十分なフィッティングがなされていない部分を3次元データDTから抽出し、抽出した3次元データDTのみを用いて、さらに標準モデルDSのフィッティングを行う（#18）。

【0096】

図11は部分領域BRYの抽出の例を示す図、図12(A)(B)(C)は部分領域BRYを用いて標準モデルDSの変形を行う方法の例を説明する図である。

【0097】

図11に示すように、3次元データDTから部分領域BRYを抽出する。各部分領域BRYa、BRYb、BRYcは、それぞれ、対象物の目およびその周辺

、口およびその周辺、鼻およびその周辺を、3次元データDTより抽出して得られた3次元データである。また、各部分領域BRYは、必要に応じて、データ量を減らすためにデータ削減が行われる。データ削減の処理は、例えば、ステップ#15で行ったデータ削減と同様の手順で行う。後述する部分領域変形では、フィッティングの領域が部分領域BRYに限定されるので、(6)式の右辺をステップ#15のときよりも0に近くしてデータ削減率を低くし、これによって部分領域BRYの精密性を維持した場合であってもフィッティング処理に多くの時間を要さない。従って、部分領域BRYの範囲の広さ、要求する精密性、および処理時間などを考慮して、部分領域BRYごとにデータ削減率を設定することができる。部分領域BRYの抽出は、ステップ#12の処理のとき、つまり、3次元データDTを得たときに予め行っておいてもよいし、ステップ#17までの処理が完了した後に行ってもよい。

【0098】

図12に示すように、標準モデルDS1a、DS1bは、標準モデルDS1の部分領域変形の過程を示すものである。

ステップ#18においては、ステップ#17までの処理で得られた図12(A)の標準モデルDS1を、図12(B)に示すように部分領域BRYaを用いてフィッティングし、標準モデルDS1aを得る。フィッティングは、ステップ#16で行ったように、変形ないし繰り返し変形と同様の手順で行われ、(7)式の制御点群T1A、点Pk、点Qk、(8)式および(9)式の制御点群T2A、点pk、点qk、(10)式の制御点群T3A、点Fk、点Gk、(11)式の制御点群TsA、点U~m、点V~m、または(13)式のしきい値εなどについて、当該部分領域BRYに応じて好適な値を用いればよい。

【0099】

それぞれの部分領域BRYについて、順次、部分領域変形を行う(#19でイエス、#18)。各部分領域BRYごとに、制御点群などをそれぞれ異ならせてフィッティングを行う。これにより、各部分領域BRYごとに、標準モデルDS1をさらに緻密にフィッティングさせることができる。

【0100】

例えば、図 1 2 (B) に示す標準モデル D S 1 a を得た後、図 1 2 (C) に示すように部分領域 B R Y b を用いてフィッティングし、標準モデル D S 1 b (3 次元モデル M L) を得る。

【0 1 0 1】

なお、各部分領域 B R Y は、他の部分領域 B R Y の一部と重なり、または他の部分領域 B R Y に含まれていてもよい。例えば、図 1 1 に示すように、部分領域 B R Y a の一部と部分領域 B R Y c の一部とが重なっていてもよいし、部分領域 B R Y b について部分領域変形を行った後に、上唇のみを新たな部分領域 B R Y として抽出し、部分領域変形を行ってもよい。

【0 1 0 2】

上に述べた実施形態によると、全体的に標準モデル D S のフィッティングを行った後、部分領域 B R Y を用いて部分的に標準モデル D S のフィッティングを行うので、目または口もとなどの局部について局所的な異常変形を起こすことなく、それらをよりよく一致させることができる。したがって、対象物により一層近い 3 次元モデル M L を生成することができる。

【0 1 0 3】

上に述べた実施形態において、モデリング装置 1 の構成、回路、処理内容、処理順序、処理タイミング、係数の設定などは、本発明の趣旨に沿って適宜変更することができる。

【0 1 0 4】

【発明の効果】

本発明によると、目または口もとなどの局部について、局所的な異常変形を起こすことなく、よりよく一致させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係るモデリング装置を示すブロック図である。

【図 2】

モデリング装置の全体の処理の流れを示すフローチャートである。

【図 3】

変形処理を示すフローチャートである。

【図 4】

標準モデルの例を示す図である。

【図 5】

対象物から 3 次元データを取得する様子を示す図である。

【図 6】

概略の位置合わせの様子を示す図である。

【図 7】

輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図である。

【図 8】

標準モデルの面と 3 次元データの点とを模式的に示す図である。

【図 9】

標準モデルの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図である。

【図 1 0】

対象物の 3 次元データおよび信頼性データを取得する方法の例を説明する図である。

【図 1 1】

部分領域の抽出の例を示す図である。

【図 1 2】

部分領域を用いて標準モデルの変形を行う方法の例を説明する図である。

【符号の説明】

1 モデリング装置（3 次元モデルの生成装置）

1 0 処理装置

D T 3 次元データ（計測データ）

F T 2 次元画像（計測データ）

B R Y 部分領域

D S, D S 1, D S 1 a 標準モデル

D S 1 b 標準モデル（3 次元モデル）

M L 3 次元モデル

T A 制御点群

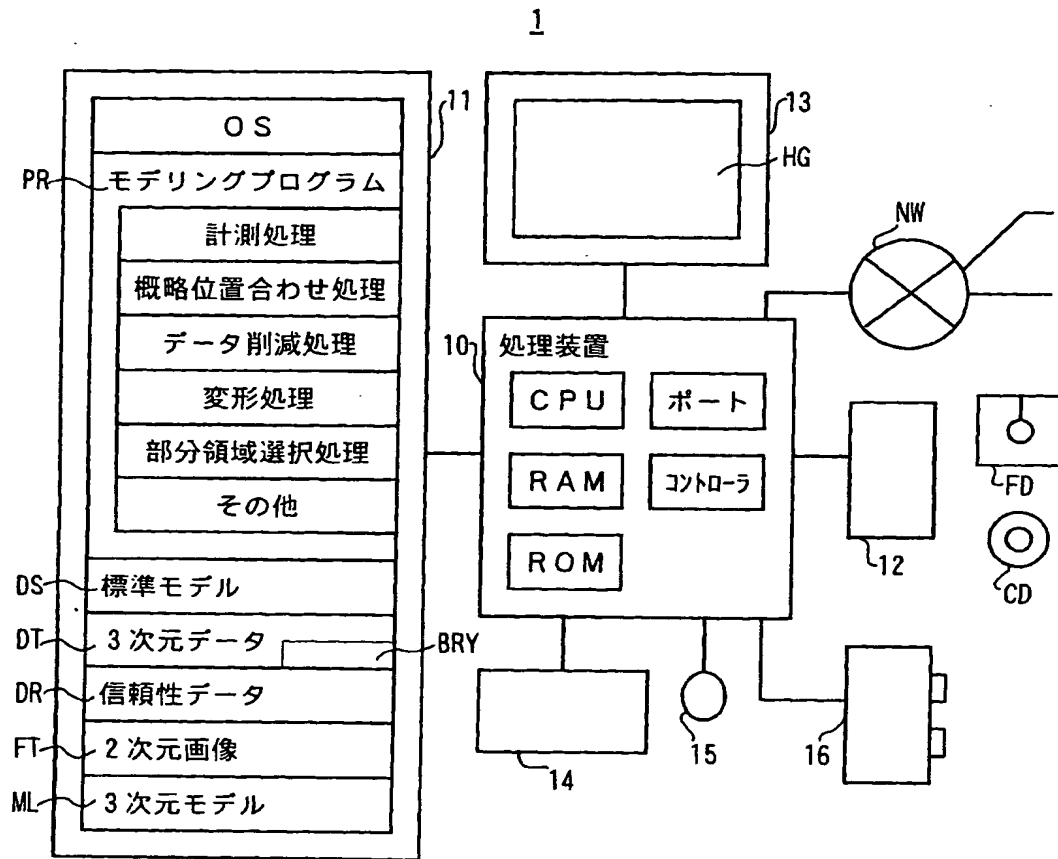
P k 構成点 (点群)

S 面

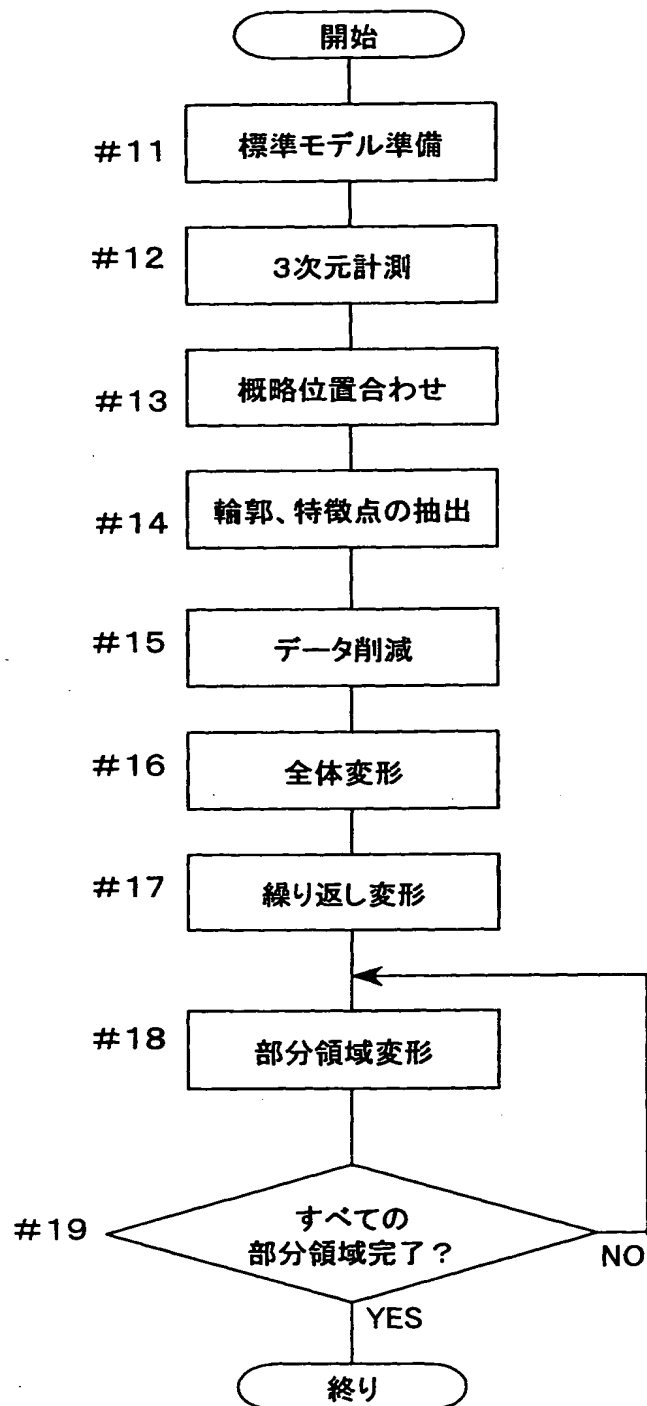
P R モデリングプログラム

【書類名】 図面

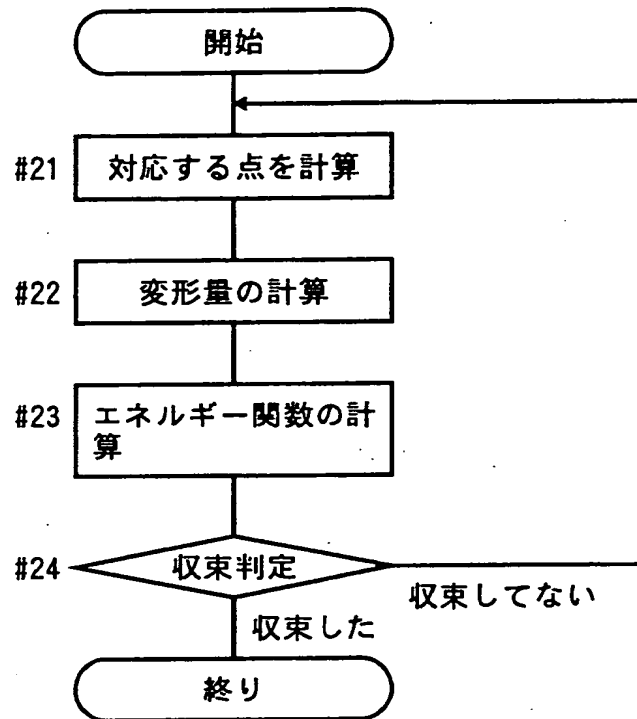
【図 1】



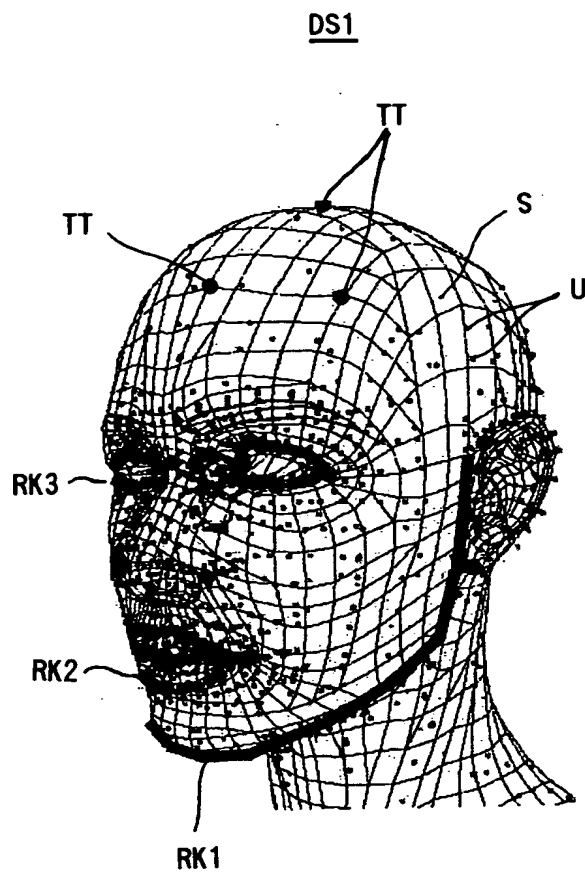
【図 2】



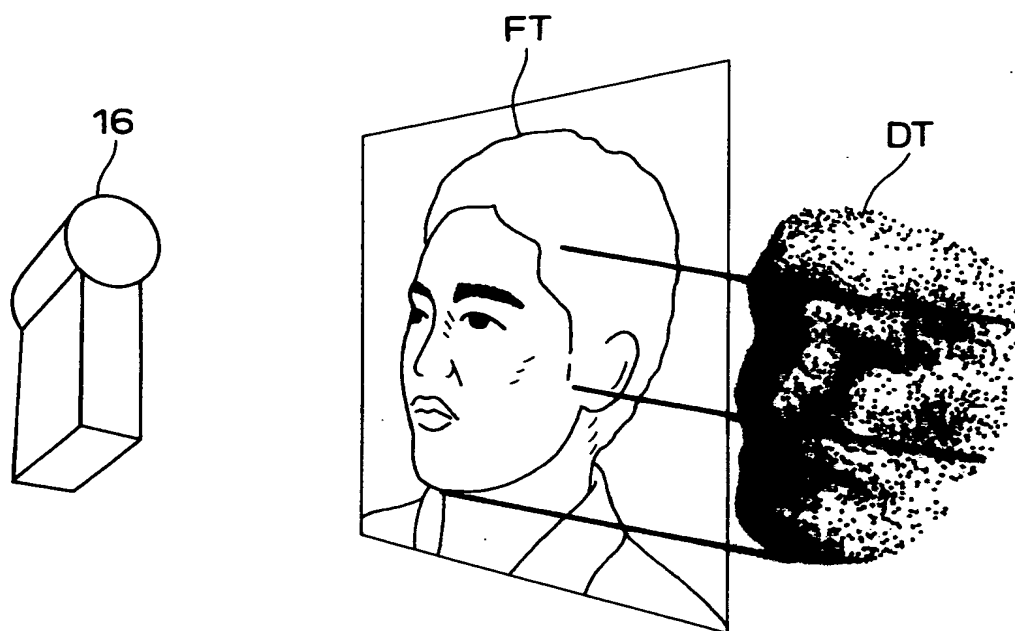
【図 3】



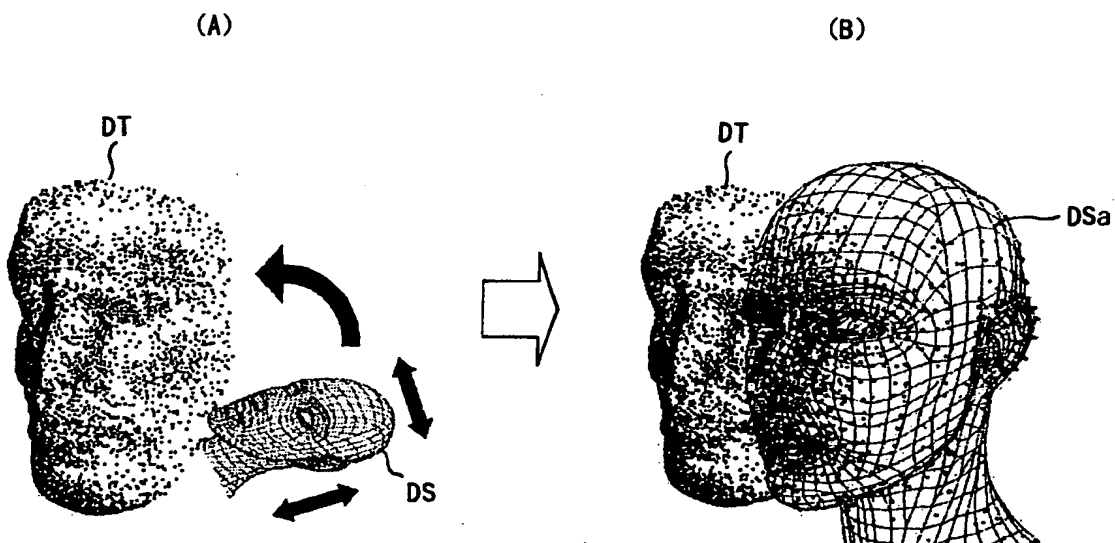
【図 4】



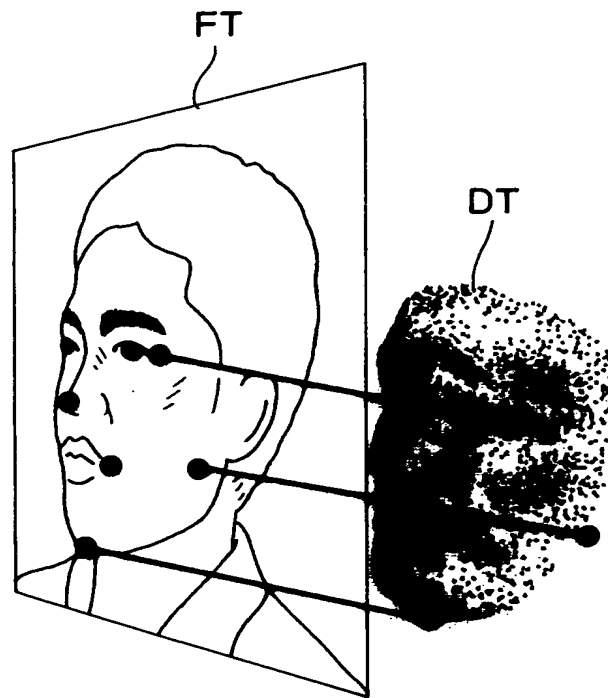
【図 5】



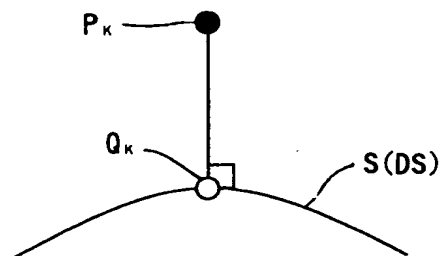
【図 6】



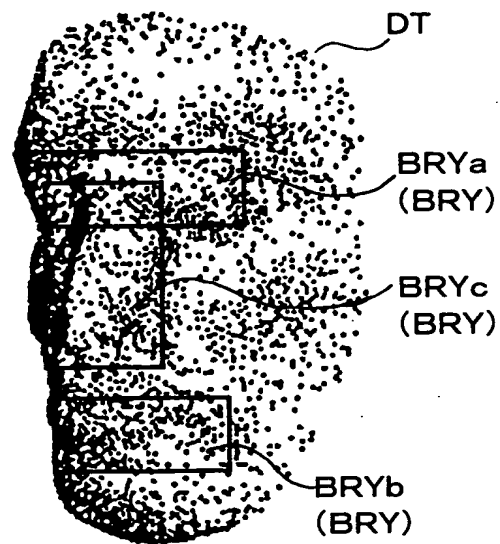
【図7】



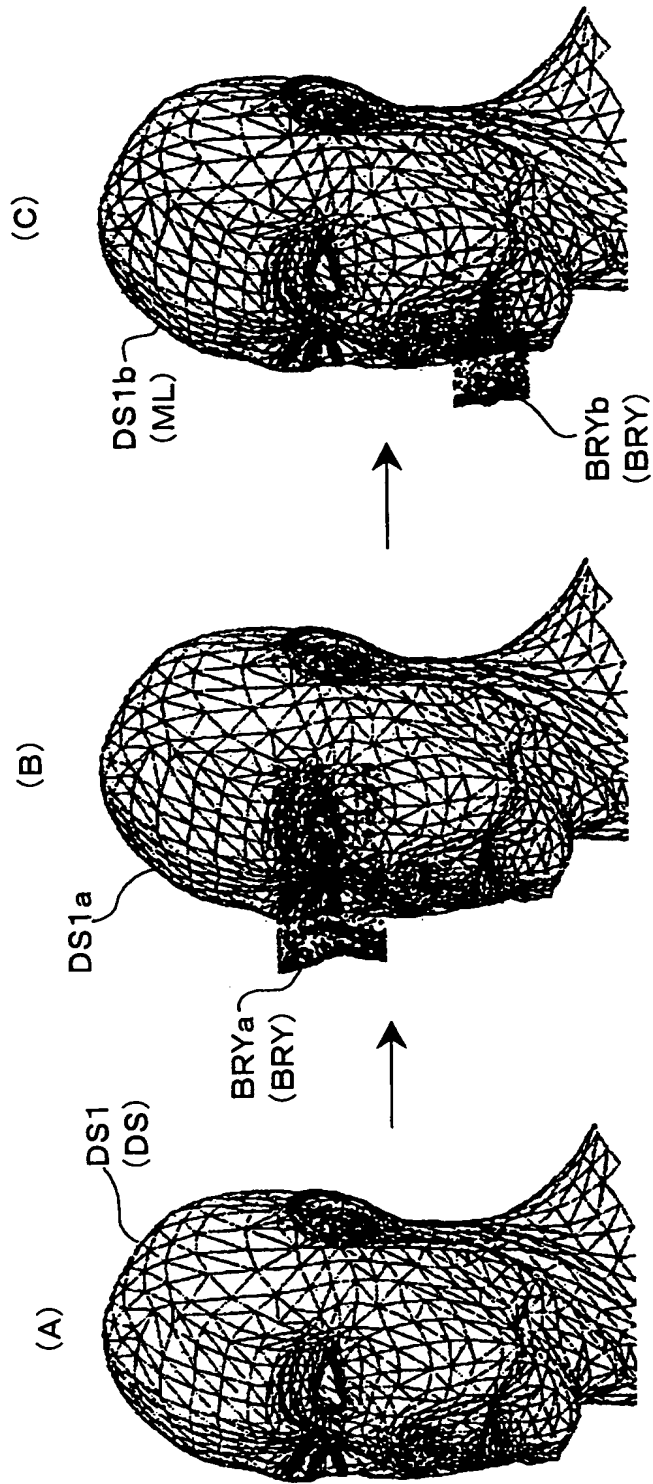
【図8】



【図 11】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 目または口もとなどの局部について、局部的な異常変形を起こすことなく、よりよく一致させること。

【解決手段】 3次元の標準モデルDSを対象物についての計測データに基づいて変形することによって3次元モデルMLを生成する方法であって、計測データから複数の部分領域BRYを抽出し、部分領域BRYごとに、データ削減率または標準モデルの変形の度合を評価する評価関数などを変更し、そのような部分領域BRYを用いて標準モデルDSを変形して3次元モデルMLを生成する。

【選択図】 図 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006079]

1. 変更年月日	1994年 7月20日
[変更理由]	名称変更
住 所	大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル
氏 名	ミノルタ株式会社